

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学号: X2013230038

UDC_____

厦 门 大 学

工 程 硕 士 学 位 论 文

基于 BP 算法的钢琴演奏自动评价系统设计 与实现

Design and Implementation of Piano Playing Automatic
Scoring System Based on BP Algorithm

吴 蔚

指 导 教 师: 姚 俊 峰 教 授

专 业 名 称: 软 件 工 程

论文提交日期: 2015 年 6 月

论文答辩日期: 2015 年 7 月

学位授予日期: 2015 年 9 月

指 导 教 师: _____

答辩委员会主席: _____

2015 年 6 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（ ） 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

（ ☒ ） 2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

摘 要

随着人们物质生活水平的不断提高，人们对精神生活的质量要求越来越高，钢琴学习也受到越来越多人的追捧。采用计算机技术对钢琴演奏技术进行自动评价，可以减轻钢琴学习负担，提高钢琴学习效果。

钢琴音乐的评价特征因素众多，评价方法模糊。根据钢琴音乐和计算机处理的特点，以及钢琴乐音自动评价的需求，选取短时平均幅度、短时平均过零率和短时平均幅度差三个钢琴乐音特征来对钢琴音乐进行评价。基于 BP 算法信息处理能力强，不确定性信息处理能力强等特点，采用 BP 算法来实现对钢琴音乐的自动评价。

钢琴演奏自动评价系统分为钢琴乐音采集子系统和钢琴乐音评价子系统两个部分的内容。其中，钢琴乐音采集子系统实现钢琴乐音的采集以及钢琴乐音的端点检测；钢琴评价子系统负责采用 BP 算法对所采集钢琴音乐的短时平均幅度、短时平均过零率和短时平均幅度等特征进行分析分类，从而实现对钢琴乐音的评价。

以所采集的 300 首不同水平的《第九交响曲》钢琴作品为例，对钢琴演奏自动评价系统进行测试的结果表明本文所研究的钢琴自动评价系统其评分准确率达到 95%，具有较好的评分效果。

钢琴演奏自动评价系统利用分类的思想实现钢琴作品的自动评价，通过将钢琴音乐作品分为优、良、及格、不及格和差五个等级，实现对钢琴作品的评价，这种分类方法较为粗略，无法更精确的对钢琴音乐进行评价，需要作者进行更进一步的分析和研究。

关键字：钢琴演奏；自动评价；BP 算法

Abstract

With the people's material living standards continue to improve, people's requirements for quality of the spiritual life is getting higher and higher. Learning the piano is also sought after by more and more people. Automatic evaluation of piano technology uses computer technology, which can reduce the burden of learning piano and improve the learning effect.

There are a number of evaluation characteristic factors of piano music and the evaluation methods are fuzzy, too. According to the characteristics of the processing of piano music and piano music and the demand of computer, automatic evaluation, selection of short-time average magnitude, short-time average zero crossing rate and short-time average magnitude difference of three piano musical characteristics to evaluate the piano music. Due to the information processing capacity and its uncertain information processing ability of BP Algorithm, we use it to realize the automatic evaluation of piano music.

Piano automatic evaluation system is divided into piano music and piano music collection subsystem two parts subsystem evaluation content. The piano music, piano music collection subsystem implements the acquisition and piano music endpoint detection, using BP Algorithm for the acquisition of the piano music of the short-time average magnitude, green rate of average short-term and short-time average magnitude characteristics to carry on the analysis classification evaluation subsystem which is responsible for the piano, so as to realize the evaluation of piano music.

In the works of 300 different levels of the acquisition of the "Ninth Symphony" piano as an example, it shows that the automatic evaluation system for the grading accuracy rate reached 95%, which is effective in this piano test result automatic evaluation system.

Piano automatic evaluation of automatic evaluation system is used by the idea of classification implementation of piano works, which are divided into five grades: excellent, good, pass, fail and bad, realizing the evaluation of piano works. This classification method is relatively rough, which is unable to make accurate evaluation

of the piano music. Therefore, the author need further analysis and research.

Keywords: Piano Playing; Automatic Scoring; BP Algorithm

厦门大学博士论文摘要库

目 录

第一章 绪 论	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究现状	2
1.3 研究内容	4
第二章 基本概念及相关技术介绍	6
2.1 BP 算法简介	6
2.2 钢琴乐理基础	8
2.2.1 声音及乐音	8
2.2.2 乐理基础	8
2.2.3 钢琴的音乐特性	10
2.3 本章小结	11
第三章 钢琴演奏自动评价系统需求分析	12
3.1 系统建设原则分析	12
3.2 BP 算法在系统中的应用可行性	12
3.3 自动评价流程分析	14
3.4 功能需求分析	15
3.4.1 钢琴音乐预处理	16
3.4.2 端点信号检测	17
3.4.3 音乐特征提取	17
3.4.4 钢琴演奏评价	18
3.5 非功能性需求分析	19
3.6 本章小结	20
第四章 钢琴演奏自动评价系统设计	22
4.1 系统总体结构设计	22
4.2 钢琴音乐预处理设计	23
4.2.1 乐音时间序列建模	23
4.2.2 乐音数字离散化	23
4.3 端点检测信号检测设计	25
4.3.1 起点检测	25
4.3.2 结束点检测	25
4.4 音乐特征提取设计	26
4.4.1 平均幅度	26
4.4.2 平均过零率	27
4.4.3 平均幅度差	27
4.5 钢琴演奏评价设计	28
4.6 数据库设计	32
4.7 本章小结	33
第五章 钢琴演奏自动评价系统实现	35

5.1 系统数据库建设	35
5.2 BP 算法确定	36
5.2.1 神经网络层次选择	36
5.2.2 各层神经元数量选择	37
5.2.3 传递函数选择	38
5.2.4 训练函数选择	39
5.3 钢琴演奏信息输入实现	39
5.3.1 钢琴演奏特征量化	40
5.3.2 MIDI 信号转换实现	43
5.4 钢琴演奏自动评估实现	47
5.5 系统评价实现效果分析	48
5.5.1 实验样本分析	48
5.5.2 神经网络结构	49
5.5.3 系统评价实现效果评价	49
5.6 本章小结	51
第六章 钢琴演奏自动评价系统测试	52
6.1 测试方法	52
6.2 系统测试实施	53
6.2.1 聚类算法钢琴音乐分类效果	53
6.2.2 BP 算法钢琴音乐分类效果	55
6.3 测试结果分析	56
6.4 本章小结	57
第七章 总结与展望	58
7.1 工作小结	58
7.2 不足与展望	59
参考文献	60
致 谢	60

Contents

Chapter 1 Introduction.....	1
1.1 The Background and Significance.....	1
1.2 Overview of Domestic and Foreign	2
1.3 Main Content.....	4
Chapter 2 Basic Concept and Related Technology Introductoin	6
2.1 The Introduction of BP Algorithm	6
2.2 The Foundation of The Piano Music	8
2.2.1 Voice and Music	8
2.2.2 The Foundation of Music Theory	8
2.2.3 The Music Characteristics of the Piano	10
2.3 Summary.....	11
Chpter 3 The Analysis of The Demand on The Automatic Piano	
Performance Evaluation System	12
3.1 The Analysis of The System Construction Principle.....	12
3.2 The Application Feasibility of BP Algorithm in The System.....	12
3.3 The Analysis in The Procedures of Auto-Evaluation	14
3.4 The Analysis of The Demand in Its Function	15
3.4.1 The Preprocessing of the Piano Music.....	16
3.4.2 Signal Endpoint Detection	17
3.4.3 Music Characteristics extraction	17
3.4.4 The Assessment of piano playing.....	18
3.5 The Analysis of The Demand in Ins Non-functionality	19
3.6 Summary.....	20
Chapter 4 The Design of The Automatic Piano Performance	
Evaluation System.....	22
4.1 The System Overall Structure Design	22
4.2 The Design of The Preprocessing of The Piano Music	23
4.2.1 The Modeling of Musical Tone in Time Sequence	23
4.2.2 The Discretization of Musical Tone Digital	23
4.3 The Design of Signal Endpoint Detection	25
4.3.1 The Starting Point Detection.....	25
4.3.2 The Endpoint Detection	25
4.4 The Design of Music Characteristics Extraction.....	26
4.4.1 Average Amplitude.....	26
4.4.2 Average Zero-crossing Rate	27
4.4.3 Average Magnitude Difference Function	27

4.5 The Design of Piano Playing Assessment	28
4.6 The Database Design.....	32
4.7 Summary	33
Chapter 5 The Implementation of The Automatic Piano Performance	
Evaluation System.....	35
5.1 The Contruction of The Database of Its System	35
5.2 BP Algorithm Confirmation.....	36
5.2.1 The Selection of the Neural Network Levels.....	36
5.2.2 The Selection of each layer in the quantity of the nerve cells	37
5.2.3 The Selection of Transfer Function.....	38
5.2.4 The Selection of Training function	39
5.3 The Implementation of The Input of The Piano Playing Information.....	39
5.3.1 The Quantization of Piano Playing Characteristics	40
5.3.2 The Implementation of MIDI Signal Transition	43
5.4 The Implementation of The Automatic Piano Performance Evaluation System	47
5.5 The Analysis in The Effects of The Evaluation System Implementation....	48
5.5.1 The Analysis of the Experimental samples	48
5.5.2 The Neural Network Construction.....	49
5.5.3 The Assessment of the Effects in the System Assessment implementation	49
5.6 Summary.....	51
Chapter 6 The Mesurement of The Automatic Piano Performance	
Evaluation System.....	52
6.1 The Methods of The Mesurement.....	52
6.2 The System Mesurement Conduction	53
6.2.1 The Effects of Clustering Algorithm in Piano Music Clssification	53
6.2.2 The Effects of BP Algorithm in Piano Music Clssification.....	55
6.3 The Analysis of The Measurement Results	56
6.4 Summary	57
Chapter 7 Conclusions.....	58
7.1 Summary.....	58
7.2 Outlook.....	59
Reperences	60
Acknowledgements.....	60

第一章 绪 论

1.1 研究背景

随着我国改革开放的不断发展和深入,人们物质生活水平不断提升,人们对精神生活质量的追求也越来越高,钢琴学习也受到越来越多人的追捧^[1]。

据调查,目前在城市内大约有 20%的父母希望自己的子女学习钢琴演奏,钢琴等级报考人数也以每年 20%的速度增长^[2],国内钢琴教育规模的扩大以及教育机制的改革导致对钢琴教师的数量需求越来越大,从事钢琴教育的专业教师已经逐渐成为了稀缺资源,国内钢琴教师这种供需矛盾在短时间内也难以改善^[3]。

虽然国内很多父母都希望自己的子女能够学习钢琴演奏,但实际上钢琴教育的花费较高^[4],不仅一台普通的钢琴需要花费数万元,而且钢琴的教学收费也需要每小时数百元。因此,很多时候,父母每周只能够请教师授课 1 小时,而其它时候只能够让学生自己盲目的学习,导致钢琴学习的效果并不如人意。

随着信息技术的发展,计算机被广泛的应用于乐音领域。从早期的留声机到现在的电声乐队都是电子技术发展的产物^[5]。目前,钢琴学习者可以从互联网上下载各种钢琴乐谱、声音样本等钢琴学习资料,从而可以减轻钢琴学习压力,提升钢琴学习效果。在学习钢琴时,虽然可以借助一些钢琴学习资料,来学习基础知识,通过多联系来提高弹奏的熟练程度,但是这些学习资料对于钢琴学习时的乐曲情感、音色等把握帮助并不大^[6]。与教师学习相比,通过计算机获取学习资料来进行音乐学习缺乏互动能力。钢琴演奏的好坏并不仅仅在于弹奏的音符是否准确,在教师教学过程中,教师通常都会对学生钢琴演奏节奏、连贯性等方面进行指点^[7]。因此,采用计算机技术对钢琴演奏技术进行自动评价,从而减轻钢琴学习负担,提高钢琴学习效果具有非常重要的意义。

钢琴演奏的计算机识别和自动评价,涉及到音乐理论、信号处理、模式识别、钢琴演奏技术等多方面的内容,涉及到音乐理论、电子、计算机、物理等多领域^[8]。随着计算机的不断普及,利用计算机开发一套钢琴自动识别和评价系统,对钢琴演奏者的演奏水平进行自动评价,用“电子老师”替代专业音乐教育人员,从而帮助钢琴学习者理解钢琴音乐,在计算机的辅助下,提高学习者对音乐的认知^[9],并且通过系统对钢琴演奏音乐进行识别和分析,并且通过特征提取和加工,

与音乐乐谱的特征的进行对比后,得到最终的评比结果,从而使得对演奏者钢琴水平给予最为真实的评价^[9],可以让钢琴学习者更加清晰的认识到演奏中的不足。同时,钢琴演奏的自动评价系统还对于计算机作曲^[10]、自动谱曲^[11]和音乐特征识别^[12]等相关领域的发展具有推动作用。

1.2 研究现状

钢琴演奏的自动评价分成钢琴乐音信号的识别及其评价两个部分的内容。

(1) 声音识别的研究现状

Moorer 系统是最早的多音识别系统,支持两声部的输入,早期的 Moorer 系统要求两个声部的音域相互错开,及要输入的两声部的基频(Pitch)范围互相不交叠^[13]。

到二十世纪八十年代后期,大阪大学致力于开发音乐信号的感知和提取,以期建立一个类似于人耳感知音乐的系统。这个项目最终设计了两个系统,其中一个系统在容忍更多错误的情况下,能够进行 3 个输入声部的识别;另外一个系统能够识别单音旋律日本民歌的识别,并且根据日本音乐的特点,对音乐中的不准确内容或者错误内容进行识别^[14]。

1993 年, Hawlev 根据计算机听觉途径分析,提出了多部钢琴作品识别的算法,并且通过实践证明该算法具有很好的多钢琴作品识别性能^[15]。

Douglas Numm 研究了采用启发式信号处理方法的音乐识别系统,可以对多大 8 个输入的风琴合奏音乐进行识别。但是该系统更加强调系统识别结果与输入音乐听觉的感知一致性,并不能够准确的识别音乐中的音符^[16]。

Kashino 的研究小组在音乐自动识别方面做出了重大的贡献,第一次清晰的分析了人类听觉分辨机制,同时还引入了基于过程的音调模型过程,提出自动音调建模算法,并且能够从信号中自动提取音调模式^[17]。到 1995 年,该系统得到了进一步的改进,采用摒弃了全局控制模块的黑板结构,通过各类先验知识的有机整合,从而大大提升了音乐识别的效果,并且通过黑板结构在贝叶斯概率网络中的应用,使得系统具有更好的先验知识^[18]。

麻省理工大学的 Heitb Martin 同样也采用黑板结构对音乐识别系统进行研究,虽然 Heitb Martin 的研究并没有建立传播网络和概率信息,也没有进行音调自动建模,那是通过增加感知加权前端,对相关图进行分析,因此支持最大发音

数目为 4 的多音乐信号输入分析^[19]。

由于计算机技术在国内发展的时间较短,目前国内缺乏对钢琴音乐识别、特征提取以及自动评价的研究。但是在与钢琴自动识别相关的语音自动识别领域中,由于国家的高度重视,目前很多高等院校和科研机构已经开始对语音自动识别技术的研究。例如华中科技大学^[20]、东北大学^[21]、北京理工大学^[22]、清华大学^[23]以及中科院的自动化所和声学所^[24]等都在语音识别领域的研究中投入了大量的资源和精力,并且目前已经取得了突破性的进展,将很快在商业领域中应用。

(2) 自动评价算法研究

由于受到人耳对声音的敏感性,以及对情感的模糊性的限制,并不是要求所演奏的钢琴音乐与琴谱音乐一模一样就认为是完美的演奏。因此,在提取了钢琴音乐特征之后,通常采用一些智能评价方法对演奏的钢琴音乐进行分类,从而达到对钢琴音乐进行评价的目的。目前主要的分类评价方法主要有神经网络算法。

神经网络的发展可以追溯到 1890 年,美国生物学家阐明了有关人脑的结构及其功能。美国心理学家 W.Mcculloch 和数学家 W.Pistt 在其学术期刊中,提出了神经网络对信息进行处理的数学模型(即 M-P 模型),第一次向全世界揭开了神经网络研究的序幕,神经网络的研究进入正题^[25]。

Hebb 提出 Hebb 规则,强调人工神经元之间连接强度变化的学习规则,开创了神经网络研究的新局面,也标志着神经网络进入应用的时期^[26]。

美国心理学家 Rosenblate 成功研制了具有自学习能力的系统,掀起了人工神经网络的第 1 次研究热潮^[27]。

斯坦福大学的教授 Bernard Widrow 开发了一个自适应线性单元 Adaline, Adanlie 和一个两层 Adanlie 的变种 Mdaaline.被应用-T 各种领域,包括语音识别、字符识别、大气预报和自适应控制功能,之后不久, Widrow 使用自适应线性单元算法开发了一个自适应过滤器,可以用于消除电话线上的回声,这也是首次把神经网络应用于实际问题^[28]。

日本大阪大学教授 Kunihiro Fukushima 提出了一个称为“Neocognitron”的用于视觉识别的神经网络,它与生物视觉理论相符合,能进行模式识别,且不需要指导,但是由于这个网络结构太复杂,没有得到推广^[29]。

斯坦福大学教授 David Rumelhart 以及 James McClelland、多伦多大学教授 Groffrey Hinton 领导的 PDP 小组开发了一种反向传播网络,这种网络得到较广泛

的应用^[30]。

美国物理学家 Hopfield 提出了仿人脑的神经网络模型,即 Hopfield 模型,此模型引入了 Lyapunov 函数(即计算能量函数),给出了网络稳定性的判断依据,并证明了一个互连单元的神经网络系统将达到能量损耗最小的原理。Hopfield 模型成功地解决了复杂的 NP 问题,即“推销员旅行路径”问题(计算随城市的个数 N 增加而成指数增长)。而且该模型能够通过集成电路来实现,这为神经元计算机奠定了基础。可以说 Hopfield 的研究掀起了人工神经网络的第二次研究高潮^[31]。

Rumelhart 和 McClelland 提出了多层网络的误差传播学习算法,简称 B-P 模型。该模型引入多层结点,解决了非线性样本的问题。同一时期不少研究者也提出了很多成功的神经网络模型。这些成果大大地促进了神经网络的发展^[32]。

1.3 研究内容

在本文的研究中,主要利用分类的思想实现钢琴作品的自动评价,通过将钢琴音乐作品分为优、良、及格、不及格和差五个等级,并且确定钢琴音乐作品在的分类来实现对钢琴作品的评价。本文的研究内容主要包括如下几个方面的内容。

第一章 绪论,主要通过相关钢琴音乐自动评价相关文献的收集和参阅,了解钢琴音乐自动评价的发展背景以及发展现状,并据此确定本文的研究思路和研究内容。

第二章 相关技术简介,主要对钢琴乐理的相关基础知识进行简单介绍,并且对在本文所采用的 BP 算法进行简单介绍,同时分析 BP 算法在钢琴自动评价应用中的可行性。

第三章 钢琴演奏自动评价系统分析,对钢琴演奏的自动评价需要将钢琴演奏乐音进行数字化,并借助信息技术对数字化的钢琴演奏乐音进行分析,实现钢琴演奏乐音的自动评价。

第四章 钢琴音乐评价系统设计,在系统需求分析的基础上,对钢琴演奏系统的各功能模块设计进行研究。

第五章 钢琴演奏自动评价系统实现,对钢琴演奏自动评价系统中的 BP 算法的具体实现进行研究。

第六章 钢琴演奏自动评价系统对比测试，通过与其它分类算法的对比，分析本课题所研究的感情演奏自动评价系统的准确性和性能优点。

第七章 总结与展望，总结全文所做的工作，并且针对本文研究所存在的不足对作者下一步的工作和学习进行展望。

厦门大学博硕士论文摘要库

第二章 基本概念及相关技术介绍

2.1 BP 算法简介

BP 算法 (Back Propagation Algorithm), 有信息正向传播与误差反向传播两个过程交替组成。在信息正向传播过程中, 每一层神经元的状态只对下一层的神经元状态进行影响, 在输入层接收到外界输入时, 从隐含层开始进行逐层计算, 并且向后传输直到输出层, 然后再由输出层计算误差变化值, 进行反向逐层传播, 根据误差梯度下降的方式修改各层神经元的权值, 直到输出的结果误差达到可接受的程度。

BP 算法中神经元模型如图 2-1 所示。

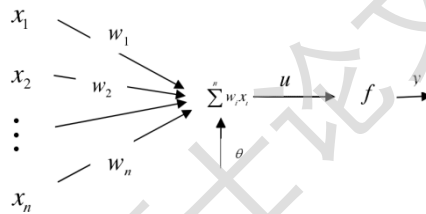


图 2-1 神经元数学模型

如图 2-1 所示, 在一个具有 n 个输入的神经元模型, 其中, $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ 表示神经元的输入; $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)^T$ 表示输入的权值, 每个输入都有一个相对应的权值; θ 为偏移信号; $u = \sum_{i=1}^n \omega_i x_i - \theta$ 表示输入的加权和; f 为神经元的激活函数, 即最后神经元的输出表示为: $y = f\left(\sum_{i=1}^n \omega_i x_i - \theta\right)$ 。

其中, f 既可以是线性函数, 也可以是非线性函数, 而非线性函数又有 S 形函数和钟形函数两种。目前, 最常用的激活函数为: $f(u) = \frac{1}{1 + e^{-\lambda u}}$ 。

BP 算法可以分成信息正向计算和误差后向传播两种两个阶段。

(1) 信息正向计算阶段

在信息正向计算阶段, 第 k 层, 第 j 个神经元的输入输出关系如式 (2-1) 所示。

Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”.

Fulltexts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.